

# Method for determining road curvature from digitally stored map information

**Patent number:** DE19604364

**Publication date:** 1997-08-14

**Inventor:** HAMBERGER WERNER DIPL ING (DE); STRUCK GUENTER DIPL ING (DE)

**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE); VOLKSWAGENWERK AG (DE)

**Classification:**


- international: G01B21/20; G01C7/02; G05D1/02; B62D1/28; B60T7/12

- european: B62D1/28; G01C21/32

**Application number:** DE19961004364 19960207

**Priority number(s):** DE19961004364 19960207

**Also published as:**

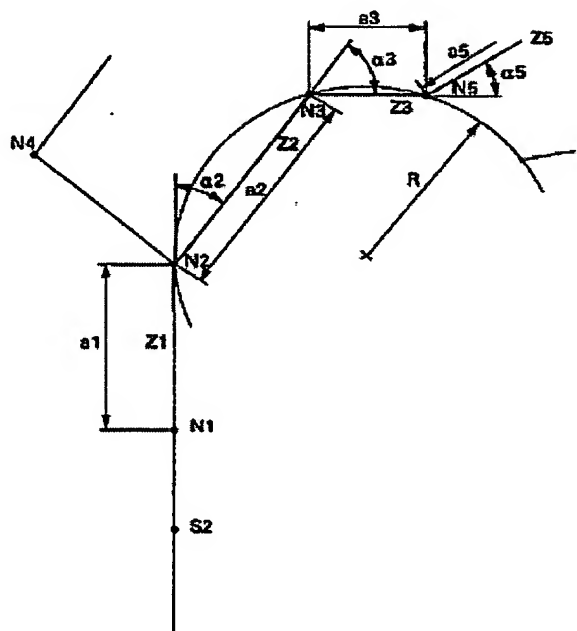
 EP0789225 (A)

**Report a data error here**

Abstract not available for DE19604364

Abstract of corresponding document: **EP0789225**

A process for identifying the curve of a road from a digital map uses digitally-given coordinate points (N1-N5) on the length of road in question. By these the road is divided into segments (Z1, Z2, Z3, Z5), with most points (e.g. N2, N3) representing both the end of one segment and the beginning of another. From this information it is possible to identify which segments correspond to a basic curve in the road, determined by the angle ( $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ) between two successive points and the length of road between them. By progressive processing, using a geometric form (d) such as the curve of the circumference, from the start-point of this first segment to the end-point of the last segment, the radius (R) of the actual curve can be discovered.



**FIG 3**

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 04 364 A 1

21 Aktenzeichen: 196 04 364.6  
22 Anmeldetag: 7. 2. 96  
43 Offenlegungstag: 14. 8. 97

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
G 01 B 21/20  
G 01 C 7/02  
G 05 D 1/02  
// B62D 1/28, B60T  
7/12

DE 196 04 364 A 1

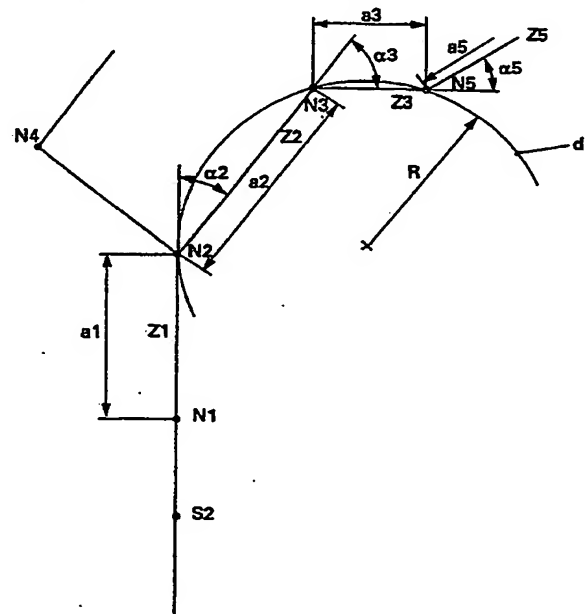
71 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE;  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

74 Vertreter:  
Hajzok, K., Dipl.-Ing., 4800 Dortmund

72 Erfinder:  
Hamberger, Werner, Dipl.-Ing., 38444 Wolfsburg,  
DE; Struck, Günter, Dipl.-Ing., 76337 Waldbronn, DE

54 Verfahren zur Ermittlung einer Straßenkrümmung aus digital abgelegten Karteninformationen

57 Es wird ein Verfahren zur Ermittlung einer Straßenkrümmung aus digital abgelegten Karteninformationen beschrieben, wobei die digitalen Karteninformationen zumindest aus Koordinatenpunkten (N1 bis N5) bestehen, die den Verlauf der Straße kennzeichnen.  
Gemäß der Erfindung wird die so abgespeicherte Straße in Segmente (Z1, Z2, Z3, Z5) zerlegt, wobei jeder digital abgelegte Koordinatenpunkt (N2, N3, N5) sowohl Endpunkt eines Segmentes als auch Anfangspunkt des nachfolgenden Segmentes ist. In dem darauffolgenden Verfahrensschritt wird ermittelt, welche Segmente (Z2, Z3) einem Bereich einer elementaren Kurve angehören. Ausgehend von dem Anfangspunkt (N2) des ersten zu einer elementaren Kurve gehörenden Segmentes (Z2) wird mindestens eine geometrische Form (d) unter Einbeziehung mindestens eines folgenden Stützpunktes (N3, N5) erzeugt, deren Krümmung als Krümmung der jeweiligen elementaren Kurve gesetzt wird. Aus dieser Krümmung wird danach der entsprechende Kurvenradius (R) ermittelt.



DE 196 04 364 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Straßenkrümmung aus digital abgelegten Karteninformationen wobei die digitalen Karteninformationen zumindest aus Koordinatenpunkten bestehen, die den Verlauf der Straße kennzeichnen.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 06 364 A1 ist ein Fahrzeugsteuersystem zum Steuern eines Fahrzeuges bezüglich einer Form einer Straße bekannt, auf der das Fahrzeug fährt, und das die Form der Straße auf Basis einer Karteninformation eines Navigationsgerätes, die aus einer Mehrzahl die Straße bildenden Koordinatenpunkten gebildet ist, erfaßt.

Dabei werden verschiedene Möglichkeiten der Erfassung der Form einer Straße in Abhängigkeit des jeweiligen Fahrzeugsteuersystems beschrieben. In einer Variante werden vier Bezugspunkte zum Erfassen der Straßenform aus den digital abgelegten Karteninformation extrahiert. Der zweite Bezugspunkt wird auf die Position des Kraftfahrzeuges gesetzt. Der dritte Bezugspunkt ist auf eine Position um die gleiche Distanz vor dem zweiten Bezugspunkt gelegt und der vierte Bezugspunkt liegt im gleichen Abstand vor dem dritten Bezugspunkt auf der Straße. Die Distanz zwischen zwei Bezugspunkten entspricht jeweils einem Produkt aus der Fahrgeschwindigkeit und einer vorbestimmten Zeit. Wenn kein Bezugspunkt an einer Position vorhanden ist, die durch ein Mehrfaches der aus der Fahrgeschwindigkeit bestimmten Distanz auf Basis einer virtuellen Position des Kraftfahrzeuges eingerichtet ist, d. h. an der Position keine Straße vorhanden ist, werden die dieser Position nächsten Punkte als Bezugspunkte extrahiert. Zusätzlich, wenn die Daten der vorhandenen Bezugspunkte grob sind und kein Bezugspunkt im Bereich der aus der Fahrgeschwindigkeit bestimmten Distanz vorhanden ist, werden ebenfalls die darauffolgenden vier Bezugspunkte ausgewählt.

Ist die Form der Straße gekrümmt und liegen die vier Bezugspunkte im wesentlichen auf einem Kreisbogen, dann wird ein Winkel der Drehung des Kraftfahrzeuges von dem zweiten Bezugsknoten zum dritten Bezugsknoten durch Ermittlung von Vektoren, die die Bezugspunkte miteinander verbinden, bestimmt. In einem nachfolgenden Schritt wird aus den durch die einzelnen Vektoren gebildeten Winkel der Krümmungsradius der Straße ermittelt.

Bei einer weiteren beschriebenen Variante zur Bestimmung der Form der Straße wird eine virtuelle Position des Kraftfahrzeuges auf eine Position gesetzt, die um eine vorher gelesenen Distanz vor der Position des Kraftfahrzeuges liegt und der zweite Bezugspunkt wird auf die virtuelle Position des Fahrzeuges gesetzt. Die vorher gelesene Distanz ist dabei eine Distanz, mit der das Fahrzeug innerhalb einer vorbestimmten Zeit bei Geschwindigkeitsminderung mit einer vorbestimmten Verzögerung aus der Fahrgeschwindigkeit heraus gehalten werden kann. In einer weiteren Variante der Erfassung der Form der Straße werden statt der vier Bezugspunkte jeweils drei Bezugspunkte verwendet.

Bei dem beschriebenen Fahrzeugsteuersystem wird die Form der Straße bezüglich der jeweiligen Steuerung (Lenkwinkelsteuerung, Geschwindigkeitssteuerung) auf einer anderen Art und Weise erfaßt.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein allgemeines Verfahren zur Ermittlung einer Straßenkrümmung aus digital abgelegten Karteninformationen zu schaffen, wobei die Ermittlung des Krümmungsradiuses für alle

späteren Anwendungsfälle gleich sein soll.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs gelöst. Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Gemäß der Erfindung wird die Straße in Segmente zerlegt, wobei jeder digital abgelegte Koordinatenpunkt sowohl Endpunkt eines Segments als auch Anfangspunkt des nachfolgenden Segmentes ist. In dem darauffolgenden Verfahrensschritt wird ermittelt, welche Segmente einem Bereich einer elementaren Kurve angehören, wobei die Bereiche einer elementaren Kurve gemäß einer bevorzugten Ausbildung über die Winkel zwischen aufeinanderfolgenden Segmenten und die Länge der Segmente ermittelt wird.

Ausgehend von dem Anfangspunkt des ersten zu einer elementaren Kurve gehörenden Segmentes wird mindestens eine geometrische Form unter Einbeziehung mindestens eines folgenden Stützpunktes erzeugt, deren Krümmung als Krümmung der jeweiligen elementaren Kurve gesetzt wird. Aus der Krümmung der elementaren Kurve bzw. den Krümmungen, wenn sich die elementare Kurve aus mehreren geometrischen Formen zusammensetzt, wird die jeweilige Krümmung als Inverse des Kurvenradiuses bzw. der Kurvenradien berechnet.

Eine solche geometrische Form kann beispielsweise ein Kreisbogen, eine Parabel, eine Hyperbel oder ein Klothoide sein.

Für den Einsatz der ermittelten Straßenkrümmung in den unterschiedlichsten Fahrzeugsteuerungen, wie sie beispielsweise in den Patentanmeldungen DE 195 45 826 und DE 195 36 012 beschrieben sind, wird gemäß einer Weiterbildung der Erfindung die aktuelle Fahrzeugposition auf der momentan befahrenen Straße ermittelt. Ausgehend von der aktuellen Fahrzeugposition werden zukünftig befahrene Straßenabschnitte unter Berücksichtigung zusätzlicher Informationsdaten der digitalen Karte und Parametern des Fahrzeugs ermittelt. Solche Informationen können beispielsweise der Zielpunkt des Fahrzeuges, die Richtung einer Einbahnstraße, die Fahrtrichtungsvorgabe des Fahrers, die Kategorie oder der Abbiegewinkel des nächsten Straßenabschnittes sein.

Aufgrund der Fahrzeugposition und eventuell des zukünftig befahrenen Straßenabschnittes wird der Abstand von der aktuellen Fahrzeugposition zu dem Anfangspunkt des ersten zu der nächsten elementaren Kurve gehörenden Segmentes ermittelt.

Bei einer ausschließlich auf GPS basierenden Erfassung der Fahrzeugposition, erfolgt diese in einem ersten Schritt in einem geographischen Koordinatensystem. Ausgehend von der Fahrzeugposition im geographischen Koordinatensystem werden Straßenabschnitte im Bereich dieser Fahrzeugposition mittels der digital abgelegten Karteninformationen gesucht, die eine Fahrzeugsur enthalten, deren Richtung innerhalb eines Toleranzbereichs mit der aktuellen Fahrtrichtung übereinstimmt, und über eine senkrechte Projektion der Fahrzeugposition im geographischen Koordinatensystem die aktuelle Fahrzeugposition auf der befahrenen Straße ermittelt.

Für eine vorausschauende Fahrzeugsteuerung ist nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, die Krümmung bzw. den Kurvenradius gleichzeitig mehrerer aufeinanderfolgender elementaren Kurven zu ermitteln.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Aus-

führungsbeispiels näher beschrieben. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Darstellung der Positionsermittlung,

Fig. 2 eine Darstellung über die Vorhersage zukünftig befahrener Straßenabschnitte und

Fig. 3 eine Darstellung der Ermittlung von Straßenkrümmungen.

Voraussetzung für die Anwendung des erfindungsge-  
mäßigen Verfahrens ist ein Fahrzeug, das mit einem Naviga-  
tionssystem ausgerüstet ist, welches laufend die aktu-  
elle Fahrzeugposition S1 in einem geographischen Ko-  
ordinatensystem ermittelt. Außerdem werden digital  
abgelegte Karteninformationen des Straßennetzes n zu-  
mindest in Form von Koordinatenpunkten N1 bis N4,  
die den Verlauf der Straßen kennzeichnen, benötigt. In  
einem ersten Schritt wird die aktuelle Fahrzeugposition  
S2 im Verlauf der Straßen aus der durch das Naviga-  
tionssystem erfaßten Fahrzeugposition S1 im geogra-  
phischen Koordinatensystem ermittelt. Diese Ermitt-  
lung ist in Fig. 1 näher dargestellt. Ausgehend von der  
Fahrzeugposition S1 im geographischen Koordinaten-  
system und der Ausrichtung gegenüber Norden wird  
derjenige Straßenabschnitt n1 in der Nähe der geogra-  
phischen Fahrzeugposition S1 gesucht, der eine befahr-  
bare Fahrspur (z. B. nicht gegen eine Einbahnstraße)  
aufweist, dessen Richtung innerhalb eines Toleranzbe-  
reiches mit der aktuellen Fahrtrichtung r übereinstimmt.  
Auf diesem Straßenabschnitt n1 wird durch eine  
senkrechte Projektion die aktuelle Fahrzeugposition S2  
auf der befahrenen Straße ermittelt.

Ausgehend von diesem Straßenabschnitt n1 werden  
während der anschließenden Fahrt die Nachbarab-  
schnitte n2, n3 zur Verfolgung der Fahrzeugposition S2  
innerhalb des Straßennetzes beobachtet. Sollte sich  
durch diese Verfolgung die geographische Fahrzeugpo-  
sition S1 von der Fahrzeugposition S2 über einen vorge-  
gebenen Toleranzbereich hinaus entfernen, so wird au-  
tomatisch eine erneute Initialisierung der aktuellen  
Fahrzeugposition S2 vorgenommen.

In Abhängigkeit von der ermittelten Fahrzeugposi-  
tion S2 werden über die Koordinatenpunkte N2 bis N6  
zukünftig befahrene Straßenabschnitte n3, n4 bestimmt,  
dabei werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel zu  
jedem Koordinatenpunkt N2 bis N6 die benachbarten  
Koordinatenpunkte mit Abständen a3, a4 und Abbiege-  
winkeln  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  bestimmt. Die Fig. 2 gibt dazu einen  
Abschnitt einer Straßenkarte an. Abgesehen von dem  
trivialen Fall, daß ein Koordinatenpunkt N1 in Fahr-  
richtung r nur einen Nachbarn N2 hat, können an einer  
Kreuzung (Koordinatenpunkt N2) mit mehreren be-  
nachbarten Koordinatenpunkten N4 und N3 zusätzlich  
Informationsdaten der digital abgelegten Karte zur Er-  
mittlung des wahrscheinlichsten Nachbarn N4 oder N3  
verwendet werden. Eine einfache Unterscheidung ist  
möglich, wenn beispielsweise der Straßenabschnitt n4  
eine Einbahnstraße entgegen der Fahrtrichtung r ist. Als  
weiteres Unterscheidungskriterium läßt sich die Kate-  
gorie des nächsten Straßenabschnittes n3, n4 verwen-  
den. Des weiteren können bestimmte Parameter des  
Fahrzeuges bzw. Einstellungen am Fahrzeug für die Er-  
mittlung des zukünftig befahrenen Straßenabschnittes  
verwendet werden. Hat der Fahrer seine gewünschte  
Fahrtrichtung angezeigt (im Ausführungsbeispiel nach  
rechts), dann wird an dem Koordinatenpunkt N2 mit  
den benachbarten Koordinatenpunkten N3 und N4, der  
entsprechende Koordinatenpunkt N3 für die weiteren  
Ermittlungen verwendet. Wenn alle bisherigen Regeln  
noch zu keinem Ergebnis geführt haben, dann wird der

Straßenabschnitt mit dem absolut kleinsten Abbiege-  
winkel zum jeweiligen Straßenabschnitt verwendet. Als  
Ergebnis steht eine unidirektionale Liste von beispie-  
lsweise Koordinatenpunkten N2, N3, N5 mit den jewei-  
ligen Abständen a3 und a5 vom Vorgänger und den ent-  
sprechenden Abbiegewinkeln  $\alpha_3$  und  $\alpha_5$  für die weitere  
Verarbeitung zur Verfügung. Die Liste aus Koordina-  
tenpunkten N1, N2, N3, N5, die die künftig befahrene  
Strecke beschreiben, wird in Segmente Z1, Z2, Z3, Z5  
zerlegt (Fig. 3), dabei ist jeder Koordinatenpunkt so-  
wohl Abschluß eines Segmentes Z als auch Beginn des  
nachfolgenden Segmentes. Zur Trennung von Berei-  
chen einer elementaren Kurve, z. B. gerader Straßenab-  
schnitte oder in einer Richtung gekrümmter Straßenab-  
schnitte, werden die folgenden Kennzeichen:

- Vorzeichenwechsel des Winkels zwischen den  
einzelnen Segmenten,
- abrupte Änderung der Länge aufeinanderfol-  
gender Segmente und
- große Länge einzelner Segmente

verwendet. Zur stabilen Erkennung eines Vorzeichen-  
wechsels und damit des Beginns einer neuen elementa-  
ren Kurve werden die Segmente entlang der Liste der  
Koordinatenpunkte N1, N2, N3, N5 nach links, gerade-  
aus und nach rechts eingestuft. Ein gerader Bereich um-  
faßt alle Segmente Z mit einem Winkel zum vorange-  
gangenen Segment unterhalb eines definierten Schwell-  
wertes. Zu einem solchen geraden Bereich gehören im  
Ausführungsbeispiel die Koordinatenpunkte N1 und  
N2. Segmente Z5 mit einem negativen Winkel  $\alpha_5$  wer-  
den in einen nach links gekrümmten Bereich einer ele-  
mentaren Kurve, Segmente Z2, Z3 mit einem positiven  
Winkel  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  werden in einen nach rechts gekrümmten  
Bereich eingestuft. Um das Ende eines gekrümmten Be-  
reichs zu erkennen, wird das Längenverhältnis der Seg-  
mente Z nach und vor einem Koordinatenpunkt N1, N2,  
N3, N5 ausgewertet. Weiterhin wird die absolute Länge  
a1, a2, a3, a5 einzelner Segmente zur Klassifizierung  
verwendet, beispielsweise werden ab einer vorgebbaren  
Länge diese Segmente als gerader Bereich eingestuft.  
Die einzelnen Klassifizierungsergebnisse führen dazu,  
daß die vorhergesagte Fahrtroute in bestimmte Bereiche  
einer elementaren Kurve eingeteilt wird, wobei für die  
weitere Verarbeitung, insbesondere die korrekte Erken-  
nung des den Anfang der Bereiche kennzeichnenden  
Koordinatenpunkts N2 von Bedeutung ist. Ausgehend  
von diesem Koordinatenpunkt wird unter Einbeziehung  
mindestens zweier folgender Koordinatenpunkte N3,  
N5 als Stützpunkte mindestens eine geometrische Form  
erzeugt. Im Ausführungsbeispiel wird als einzige geo-  
metrische Form ein Kreisbogen d verwendet, dessen  
Radius R als Kurvenradius der entsprechenden Fahr-  
zeugsteuerung übergeben wird.

#### Bezugszeichenliste

N1 bis N6 Koordinatenpunkte  
n Straßennetz  
S1 Fahrzeugposition im geographischen Koordinaten-  
system  
S2 Fahrzeugposition im Verlauf der Straße  
n1 bis n5 Straßenabschnitte  
r Fahrtrichtung  
a1 bis a5 Abstände  
 $\alpha_2$  bis  $\alpha_5$  Abbiegewinkel, Winkel zwischen zwei Seg-  
menten

Z1, Z2, Z3, Z5 Segment  
R Radius  
d Kreisbogen

# Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer Straßenkrümmung aus digital abgelegten Karteninformationen, wobei die digitalen Karteninformationen zumindest aus Koordinatenpunkten (N1 bis N6) besteht, die den Verlauf der Straße (n) kennzeichnen, mit folgenden Verfahrensschritten:
  - Zerlegung der Straße in Segmente (Z1, Z2, Z3, Z5), wobei jeder Koordinatenpunkt (N1, N2, N3, N5) sowohl Endpunkt eines Segmentes als auch Anfangspunkt des nachfolgenden Segmentes ist,
  - Ermittlung, welche Segmente (Z2, Z3) einem Bereich einer elementaren Kurve angehören,
  - ausgehend von dem Anfangspunkt (N2) des ersten zu einer elementaren Kurve gehörenden Segmentes (Z2) Erzeugung mindestens einer geometrischen Form (d) unter Einbeziehung mindestens eines folgenden Koordinatenpunktes (N3, N5), deren Krümmung als Krümmung der jeweiligen elementaren Kurve gesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus der ermittelten Krümmung der Kurvenradius (R) der elementaren Kurve ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereiche einer elementaren Kurve gerade Straßenabschnitte oder in eine Richtung gekrümmte Straßenabschnitte sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereiche einer elementaren Kurve über die Winkel ( $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$ ,  $\alpha_5$ ) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Segmenten und die Länge ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$ ,  $a_5$ ) der Segmente ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die geometrische Form (d) ein Kreisbogen, eine Parabel, eine Hyperbel oder ein Klothoide ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Fahrzeugposition (S2) auf der befahrenen Straße ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend von der aktuellen Fahrzeugposition (S2) zukünftig befahrene Straßenabschnitte unter Berücksichtigung zusätzlicher Informationsdaten der digital abgelegten Karte und Parametern des Fahrzeuges ermittelt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand von der aktuellen Fahrzeugposition (S2) auf der befahrenen Straße zu dem Anfangspunkt (N2) des ersten zu einer elementaren Kurve gehörenden Segmentes (Z2) ermittelt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrzeugposition (S1) in einem geographischen Koordinatensystem ermittelt wird, ausgehend von der Fahrzeugposition (S1) im geographische Koordinatensystem Straßenabschnitte (n1) im Bereich dieser Fahrzeugposition gesucht werden, die eine Fahrzeugspr

enthalten, deren Richtung innerhalb eines Toleranzbereichs mit der aktuellen Fahrtrichtung übereinstimmt, und über eine senkrechte Projektion der Fahrzeugposition im geographischen Koordinatensystem die aktuelle Fahrzeugposition (S2) auf der befahrenen Straße (n) ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmung mehrerer aufeinanderfolgender elementarer Kurven gleichzeitig ermittelt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

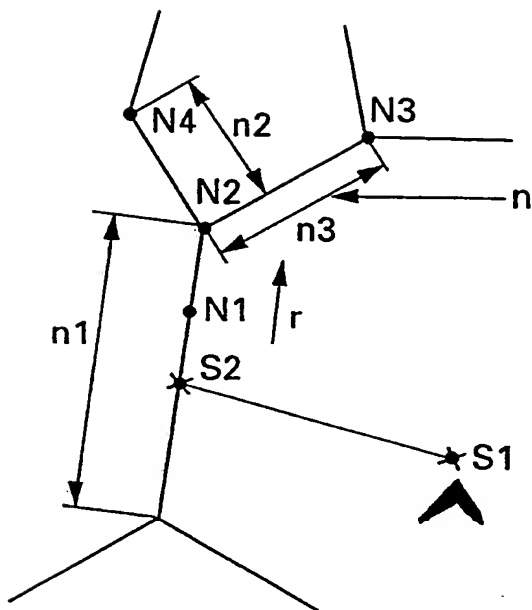


FIG 1

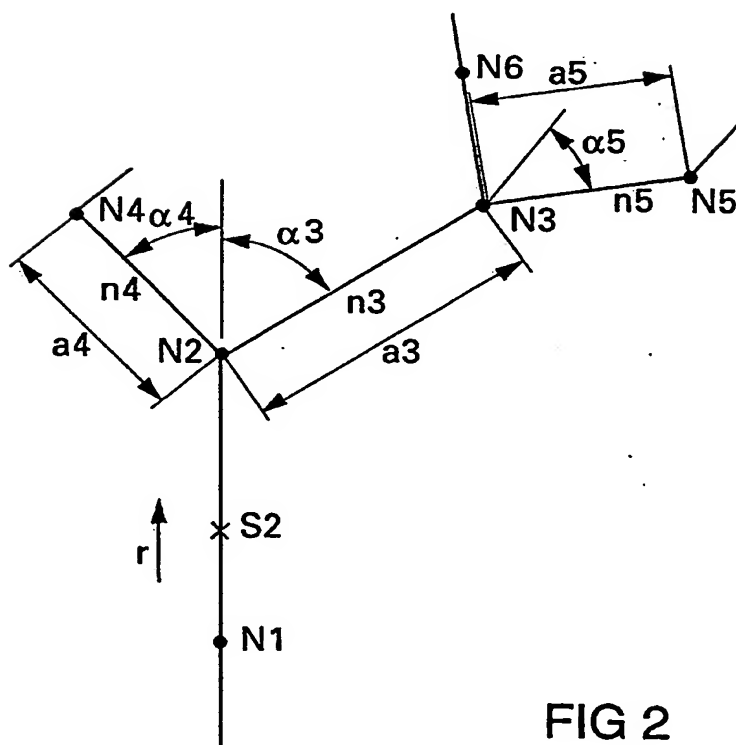


FIG 2

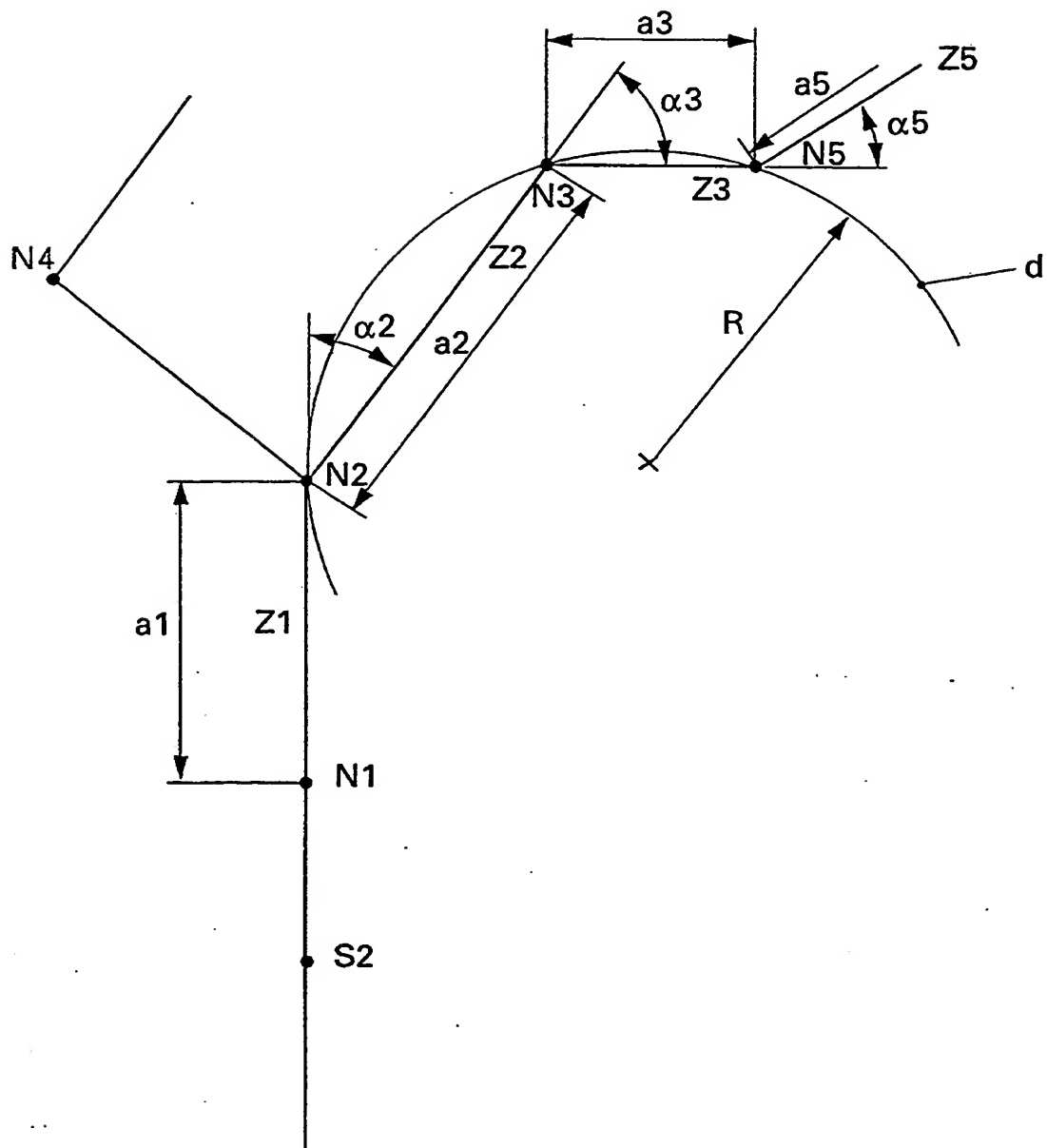


FIG 3